

Радиоприборы немецких бомбардировщиков в игре Ил-2 Штурмовик: Битва за Сталинград / Битва за Москву v.1.0 by L o f t e, 27.05.2016

[1. Радиоприборы и оборудование в игре БзС/БзМ](#)

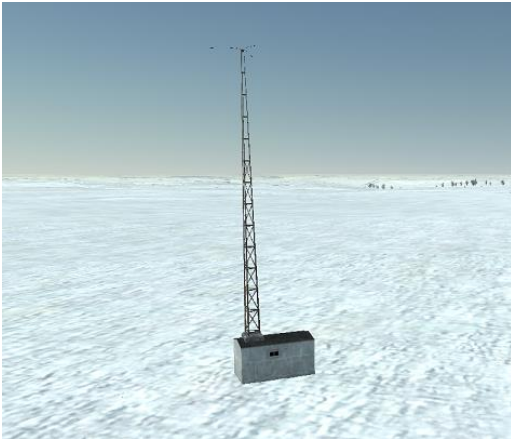
[2. Краткое описание соответствия работы радиоприборов в игре реальности](#)

[3. «Луч Лоренца» и системы работающие на его основе](#)

1. Радиоприборы и оборудование в игре БзС/БзМ

Из радио окружения в игре на 22.05.2016 моделируются следующие элементы

1) Наземный радиомаяк



2) Прибор Funkpeilanzeigergerät FA/R2 (здесь и далее - «радиокомпас»), устанавливаемый на самолётах He-111, Ju-88, Bf-110.



3) Прибор Anzeigergerät für Funknavigation AFN 2 или «радионавигационный индикатор» (здесь и далее AFN 2). В игре стоит на He-111.



4) Прибор Anzeigergerät für Funknavigation AFN 1 (аналог AFN2).
В игре стоит на Ju-88 и Bf-110.



Наземный радиомаяк

Радиомаяк в игре, это некий наземный элемент под условным названием в полном редакторе «nbp». Работает как обычный всенаправленный радиомаяк, т.е. радиостанция, постоянно излучающая сигналы по направлению 360 градусов. Ниже перечислены особенности работы этого объекта:

а) Расстояние, на котором самолёты могут воспринимать сигнал маяка – ок 100 км (10 квадратов на карте) при вхождении в зону действия маяка извне, и ок. 110 км при выходе из зоны действия. Об особенности приёма сигнала маяка приборами на различных расстояниях будет сказано далее, в описании работы приборов.

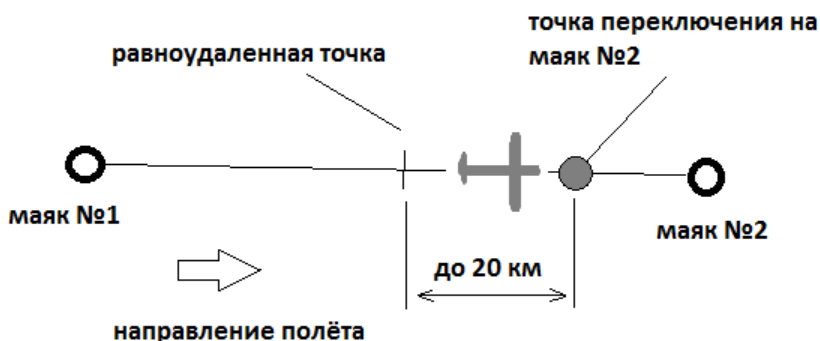
б) Единственный уникальный параметр, который можно настроить для данного объекта в полном редакторе – это «канал маяка» - «beacon channel». Значение может быть в диапазоне от 0 до 99. При значении «0» маяк не работает.



в) Немецкие самолёты принимают сигналы только от немецких маяков (предполагаю, что советские – только от советских, но не проверял). Советские маяки игнорируются немцами самолётами.

г) маяк, как и любой объект типа «Vehicle» можно уничтожить

д) если на карте несколько радиомаяков, то принимается тот, который ближе. Переключение с одного сигнала на другой, однако, происходит не в точке равноудалённой от обоих маяков, а ближе к тому маяку, который приближается (до 10-20 км - см. ниже). Т.е., есть некоторая «инерция» переключения.

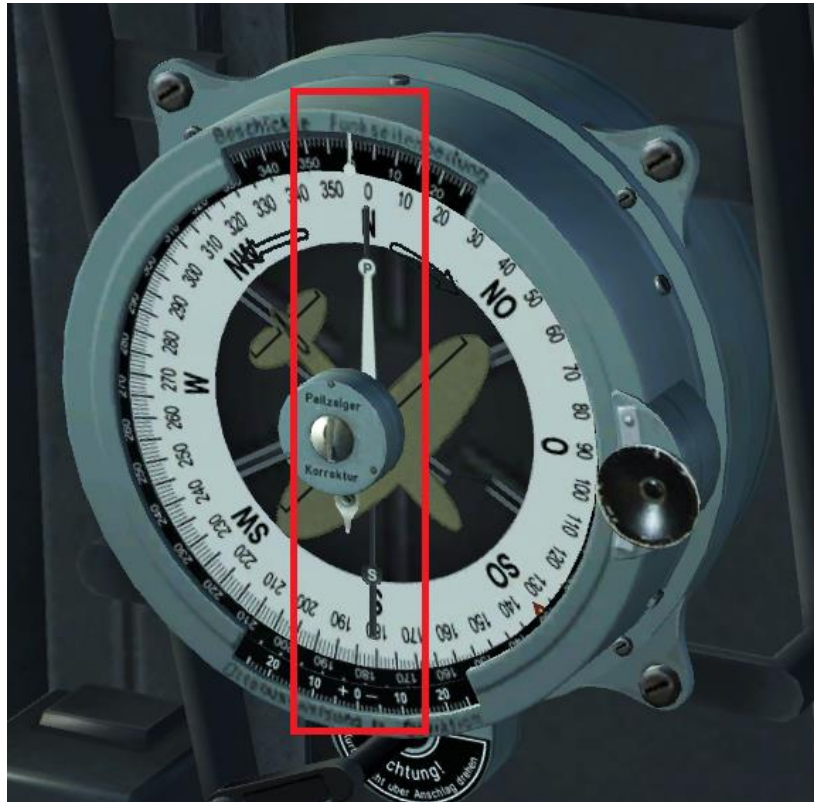


е) дальность приёма радиомаяка днём и ночью – одинакова (в игре нет «ночного эффекта», т.е. увеличения дальности приёма с одновременным падением точности сигнала в ночное время).

Funkpeilanzeigergerät FA/R2 (или «радиокомпас»)

Прибор Funkpeilanzeigergerät FA/R2 представляет собой прибор, совмещающий показания магнитного компаса и указателя пеленга на маяк. Стоит на самолётах He-111 (в кабине пилота по правому борту), на Ju-88 (по центру и ниже панели приборов) и на Bf-110 (в кабине стрелка-радиста за спиной). Указатель выглядит как стрелка, на головную часть которой нанесена буква «P», на хвостой части нанесена буква «S». Головная часть стрелки окрашена в белый цвет, хвостовая в тёмный (см. ниже).

Если радиоприборы самолёта не ловят ни один немецкий маяк, то стрелка буквой «P» всегда указывает на «0» градусов, как это показано на рисунке ниже.



На пределе дальности приёма сигнала радиомаяка (ок. 100 км) стрелка совершает медленные маятниковые перемещения («туда-сюда») в пределах до ± 20 градусов от истинного пеленга на маяк. По мере приближения к маяку амплитуда колебаний затухает и примерно на расстоянии 30 км от маяка стрелка перестаёт колебаться и показывает точный пеленг на маяк. Работа прибора ночью полностью аналогична работе днём.

AFN 2

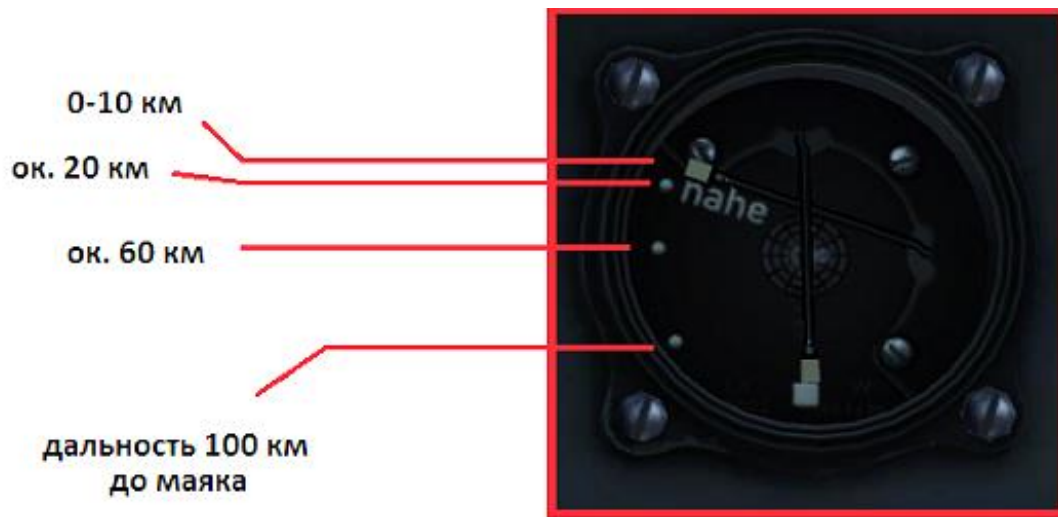
Прибор AFN 2 в игре стоит на самолёте He-111 и показывает

- по нижней шкале - отклонение от пеленга на радиомаяк
- по левой шкале - силу сигнала маяка, по которой можно оценить дистанцию до маяка.

Поведение на дальностях от 100 до 30 км до радиомаяка аналогично поведению «радиокомпаса» - отклонения влево-вправо, затухающие по мере приближения к маяку.

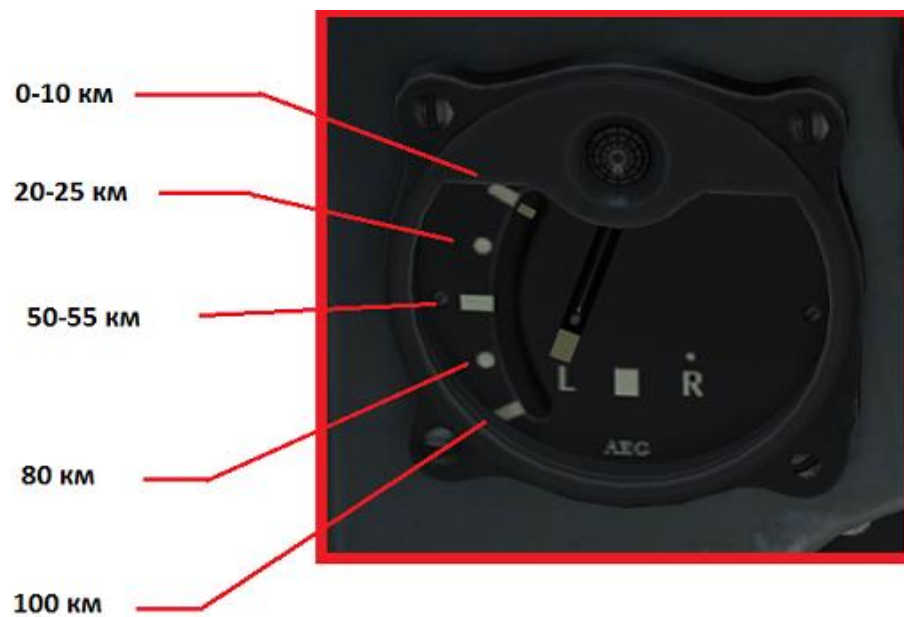
Если радиооборудование самолёта не принимает сигнал ни от одного маяка, положение указателей будет идентично изображенному ниже.

Также на изображении ниже указано примерное соответствие указателя левой шкалы и дистанции до маяка.



AFN 1

Прибор AFN 1 в игре стоит на самолётах Ju-88 и Vf-110 и по назначению и работе полностью аналогичен прибору AFN 2. Ниже указаны показания левой шкалы прибора, примерно соответствующие дальности до маяка.



Внимание! Сразу хочу сказать, что приведенная далее информация может быть неточна либо неполна. Поэтому если вам есть что добавить или исправить – пишете на форуме forum.il2sturmovik.ru или там же в личку пользователю L o f t e .

2. Краткое описание соответствия работы радиоприборов в игре реальности.

Funkpeilanzeigergerät FA/R2

Являлся частью бортового радиокомплекса Peilgerät (PeilG) 4/5/6 , т.е. радиопеленгатора с приёмником типа EZ 2 (антенна в виде кольца), EZ 4 (штырь), EZ 6 (антенна в виде плоской «крыльчатки»). Рабочие частоты 150 – 1200 кГц.

Насколько я понимаю, в основном поведение в игре близко к реальности – пеленгатор настраивался радистом на частоту маяка и устанавливал пеленг, который выдавался пилоту в виде отдельной стрелки на шкале компаса.

AFN 1, AFN 2

Приборы AFN 1 и AFN 2 являлись частью системы индикации бортового пеленгатора PeilG 4/5/6 и одновременно являлись индикаторами системы «слепой посадки» FuBL 1/2 (Funklande-Empfangsanlage – «радиоприёмник системы слепой посадки»). Переключение между этими режимами работы осуществлялось через коммутатор радиста специальными переключателями (как выглядел коммутатор от радиостанции для бомбардировщиков FuG 10 - см. ниже).

При желании этот коммутатор можно найти в игре на He-111 (в кабине верхнего стрелка ниже по правому борту), Ju-88 (в нижнем правом углу позиции верхнего стрелка), Bf-110 (в кабине стрелка-радиста).

Schaltkasten 13 (Ящик 13)

ZFF - "Ziel Funk Feuer" - "целевой радиомаяк" - включение режима пеленгации сигнала ненаправленного маяка

LFF - "Land Funk Feuer" - "посадочный радиомаяк" - включение режима работы с "радиолучем Лоренца", т.е. с системами слепой посадки, системами наведения на цель "Кникбайн" и т.д.

Верхний переключатель для радиста, нижний для пилота. Среднее положение - "выкл." ("Aus")



В режиме ZFF, т.е. пеленгации ненаправленного маяка, приборы ANF 1 и 2 работали так, как это есть в игре – нижняя шкала показывала отклонение самолёта от пеленга на маяк, левая – силу сигнала, по которой можно оценить дальность.

В режиме LFF, т.е. в режиме слепой посадки по «радиолучу Лоренца», т.е. направленного радиосигнала с особыми свойствами (см. далее), прибор по нижней шкале так же показывал отклонение от центра «луча», а по левой - силу сигнала, т.е. также удаление от источника излучения.

Режим LFF, к сожалению, в игре не реализован.

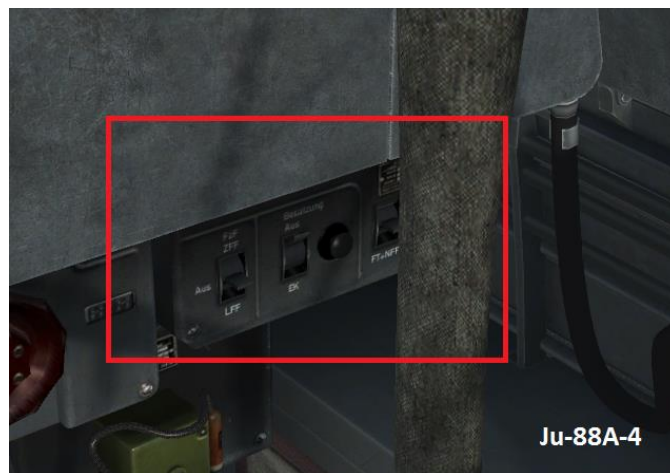
Также, хотя в игре приборы AFN 1 и AFN 2 всегда работают в режиме ZFF (т.е. пеленгации ближайшего радиомаяка), переключатель на коммутаторе всегда в положении «Выключено» («Aus»).



Bf-110E-4



He-111H-6



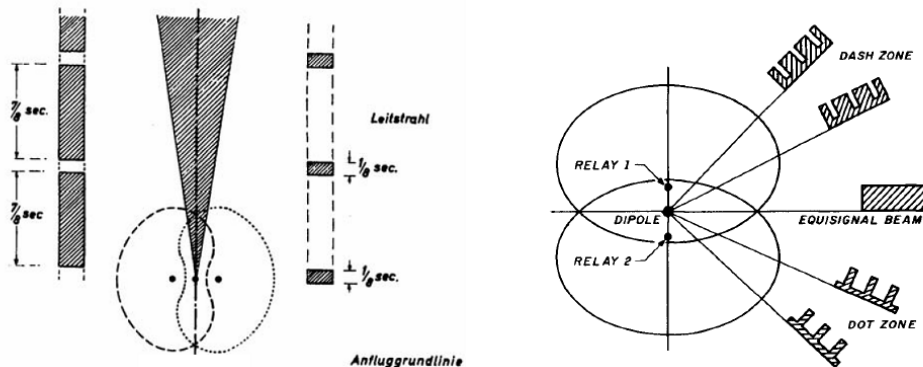
Ju-88A-4

3. «Луч Лоренца» и системы работающие на его основе.

«Луч Лоренца»

Пару слов о «луче Лоренца» и системах, которые работали, используя данный «луч».

«Радиолуч Лоренца» представлял собой направленный радиосигнал, в котором можно было с помощью бортового радиооборудования самолёта выделить три зоны – центральную зону (непрерывного сигнала), зону «точек» (коротких радиосигналов) и зону «тире» (длинных радиосигналов). При этом центральная зона была настолько узкой, что её можно было использовать для самолётовождения по «лучу». Физически излучатель «луча Лоренца» представлял собой разные вариации передатчика с тремя антеннами, расположенными на одной линии, перпендикулярной направлению «луча». Взаимное наложение сигналов этих антенн в пространстве и формировало направленный сигнал или «луч». Первые опыты с направленным «лучем» были проведены в Германии ещё в 20-х годах, практическое использование данной технологии началось с начала 30-х годов в гражданском самолётовождении. Пионером в этой области стала немецкая фирма C. Lorenz AG.



Во время второй мировой войны на основе данной технологии в Германии использовалось на практике несколько наземных систем навигации и целеуказания:

- Система «слепой» посадки
- Навигационная система «Электра»/«Зонне» и др.
- Система наведения на цель «Кникебайн»
- Система наведения на цель «X-Герет» (или «X-устройство»)
- Система наведения на цель «Y-Герет» (или «Y-устройство»)

Система слепой посадки по «лучу Лоренца»

Представляла собой систему из трёх радиомаяков направленного излучения и, как уже говорилось выше, широко использовалась до войны в гражданской авиации (с частотами несколько отличными от военных).

- AFF (Ansteuerungs-Funkfeuer) - ведущий или курсовой маяк мощностью 120 Вт, устанавливался у противоположного от глиссады края ВПП и на частоте 30-31,5 МГц излучал курсовой или ведущий «луч» захода на посадку.

- VEZ (Vor-Einflugzeichen) - «передний» маркерный маяк мощностью 5 Вт, устанавливался за 3000 м от начала ВПП и излучал направленный вертикально вверх сигнал на частоте 38 МГц.

- HEZ (Haupt-Einflugzeichen) - «главный» маркерный маяк, устанавливался за 300 м от начала ВПП. Частота и мощность – аналогичны маяку VEZ.

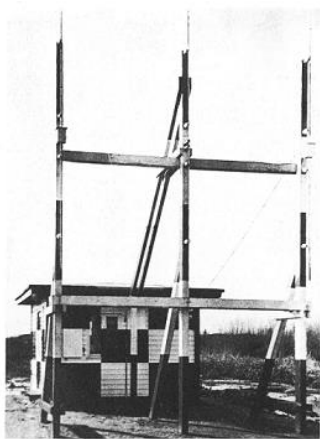
Приём сигналов маяков слепой посадки на борту самолёта выполняла система приёма сигналов слепой посадки FuBL 1 с приёмником EBI1 для приёма сигналов AFF и EBI2 - для приёма сигналов маяков VEZ и HEZ. Дальность приёма сигнала маяка AFF составляла до 30 км при высоте полёта 200 м.

Сигналы от бортовой системы слепой посадки выводились на приборы AFN 1/ AFN 2, а также на наушники, что позволяло производить посадку «на слух».

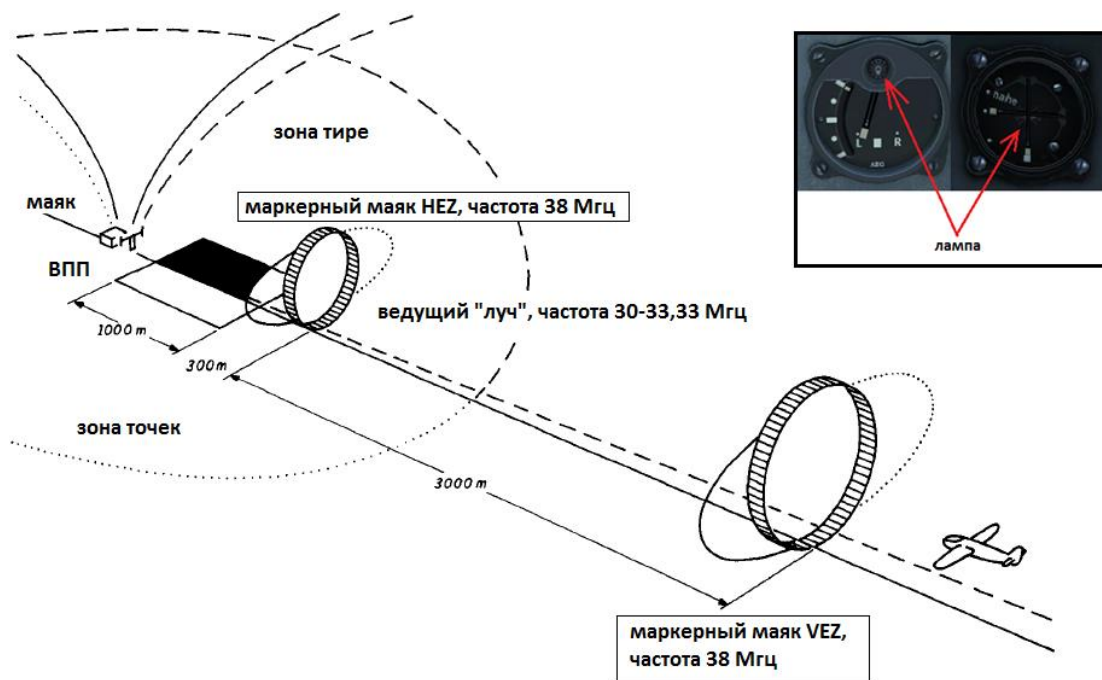
При отклонении самолёта от «луча» маяка AFF вертикальная стрелка на приборе AFN 1/2 отклонялась в ту же сторону, куда отклонялся самолёт. Пилот должен был, ориентируясь на показания прибора, всегда держать вертикальную стрелку на центральной риске, т.е. двигаться по «лучу».

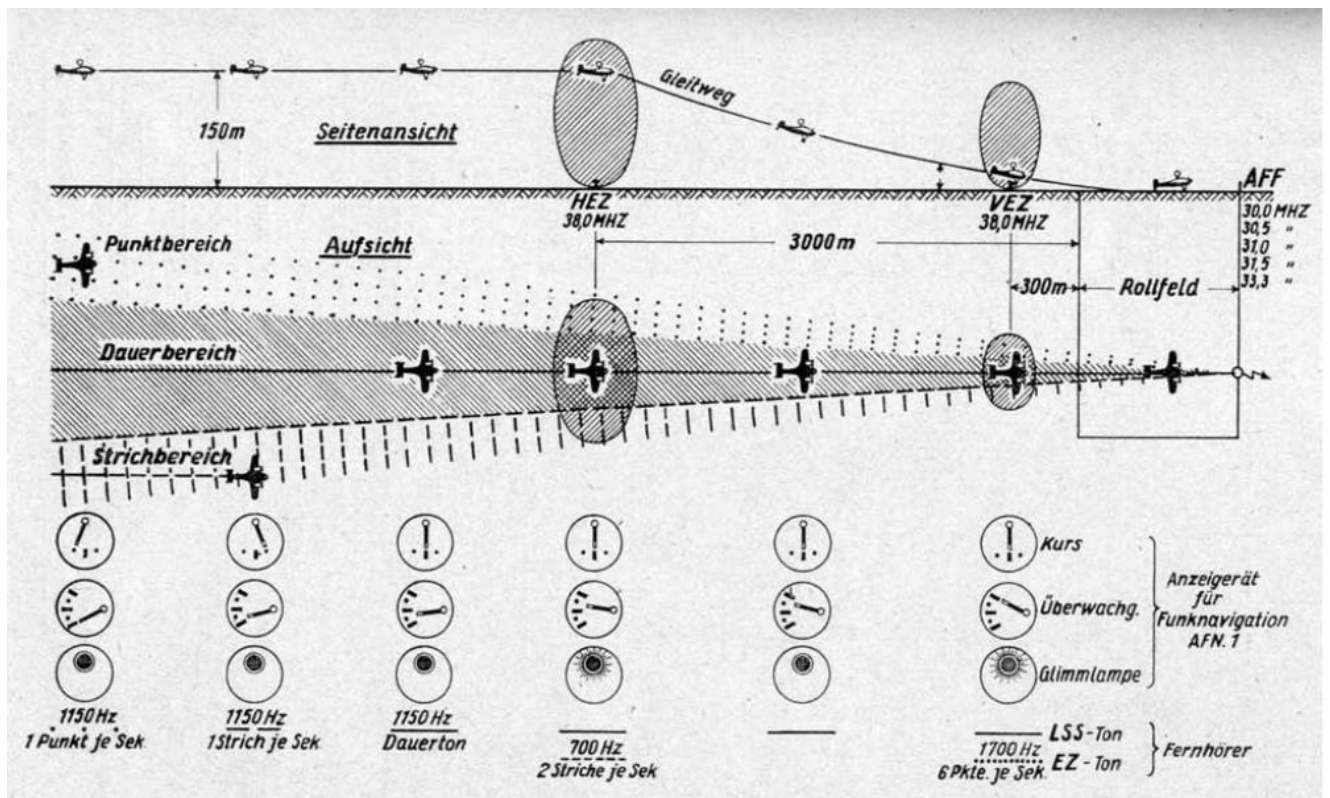
При пересечении маяков VEZ и HEZ на приборах AFN кратковременно (на время нахождения самолёта в зоне действия маркерного маяка) загоралась специальная лампа, подсказывающая пилоту, на каком расстоянии от ВПП он находится (см. ниже).

При посадке «на слух», при отклонении от направляющего «луча» влево радист слышал «точки», т.е. звуковые сигналы длительностью 1/6 секунды с паузой 7/6 секунды. При отклонении вправо от луча, радист слышал «тире» - звуки длительностью 7/6 секунды с паузой 1/6 секунды. В случае нахождения точно на курсе, радист слышал непрерывный звуковой сигнал. При прохождении маркерного маяка VEZ, радист кратковременно слышал «тире» длительностью 4/10 секунды с паузой 1/10 секунды, т.е. более «краткие», чем в зоне «тире» направляющего «луча». При прохождении маяка HEZ радист слышал «точки» длительностью 1/15 секунды с интервалом 1/10 секунды, т.е. более частые, чем в зоне «точек» направляющего «луча».



Внешний вид маяков AFF (слева) и VEZ/HEZ (справа)





Навигационная система «Электра»/«Зонне»

Система «Электра» (Elektra) представляла собой радиокомплекс разработки фирмы «Лоренц», состоящий из передатчика мощностью примерно 1,5 кВт и трёх мачт, установленных примерно в 4 км друг от друга. В отличие от системы слепой посадки, работавшей в диапазоне УКВ, система «Электра» работала на средних волнах, на частоте 480 кГц (или 300 кГц для системы «Elektra Lang», т.е. с увеличенной дальностью передачи). Соответственно, дальность работы системы была несоизмеримо больше, и составляла 1500 км над сушей и 3000 км над морем.

В излучении системы «Электра» использовался не один, а много «лучей», которые излучались в секторах ок.120 градусов с шагом ок.17 градусов (физические основы излучения подобных сигналов, такие как сдвиг фазы передающих антенн и наложение электромагнитных полей, я опускаю т.к. сам их не до конца понимаю).

Находясь в «луче», приёмник самолёта воспринимал сигнал как непрерывный. Если же самолёт находился в секторе «левее» или «правее» относительно луча, то приёмник принимал «точки» (сигнал длительностью 1/6 секунды) или «тире» (5/6 секунды).

Количество «точек» и «тире» для каждого сектора передавалось разное, поэтому, зная, например, количество «точек» до пересечения «луча» и количество «тире» после пересечения луча, радист мог определить в какой из «лучей» «Электры» попал самолёт и установить точный пеленг на радиостанцию. Подсчёт «точек» и «тире» производился акустически, т.е. на слух.

Пересечение двух пеленгов (от двух систем) позволяло относительно точно установить свои координаты. Точность определения пеленга по сигналу системы «Электра» составляла до 0,14 градуса днём и примерно 2-2,5 градуса ночью. Несколько станций «Электра» (а также дальнейшего развития станции – «Зонне» (Sonne)) были установлены на западном побережье Атлантического океана для облегчения ориентировки самолётам и подводным лодкам.

Также в отчете бывшего генерала люфтваффе Морцика есть упоминание об установке системы «Электра» на временно оккупированной территории СССР в Запорожье.

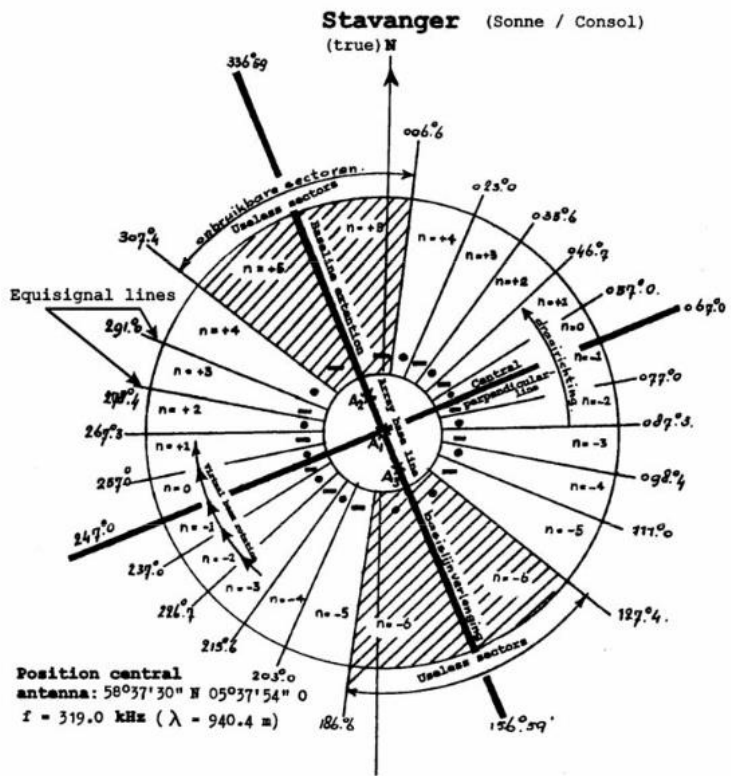
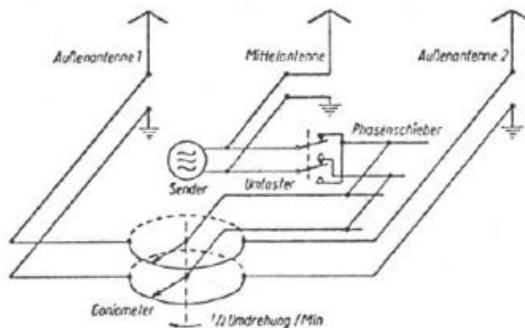
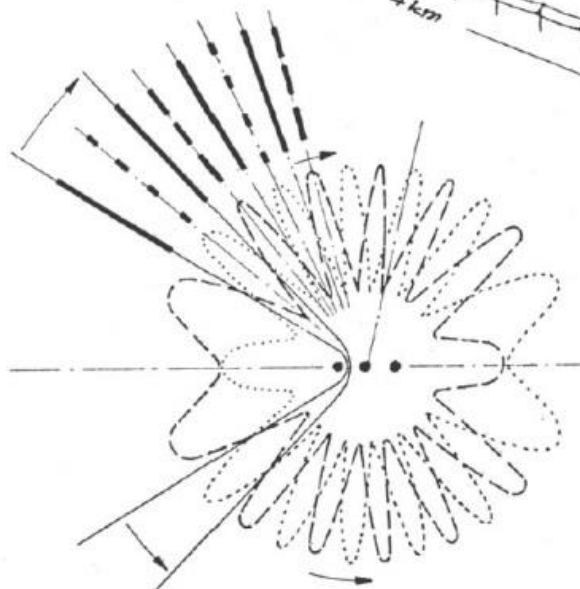
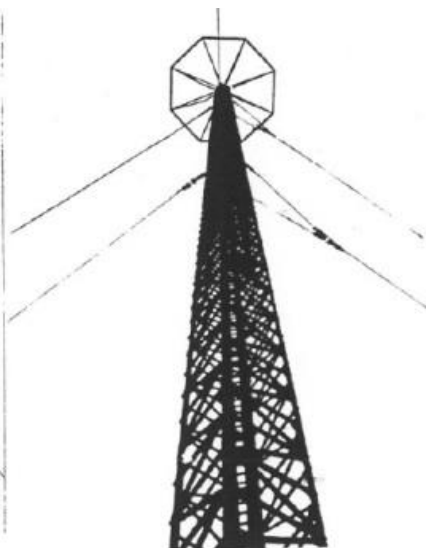
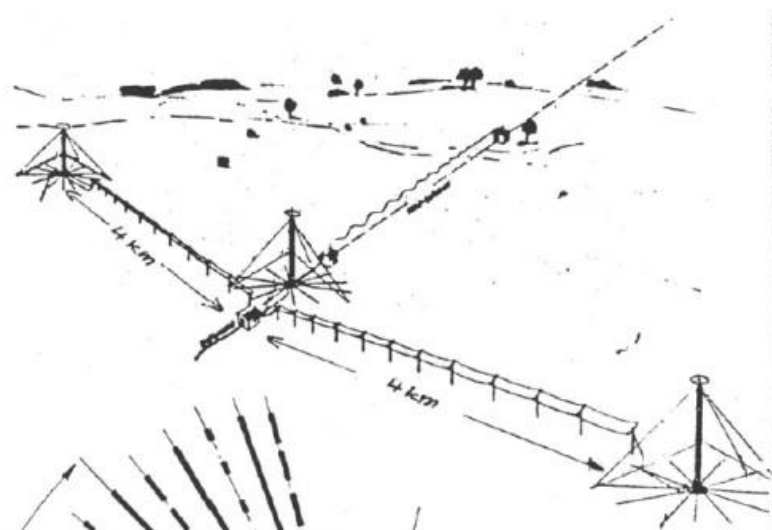


Схема работы маяка типа "Зонне" в Ставангере S1 (E1) (проработал до начала 80-х, норвежский позывной LEC)
 Рабочие сектора:
 186,6 - 307,4 град
 006,6 - 127,4 град

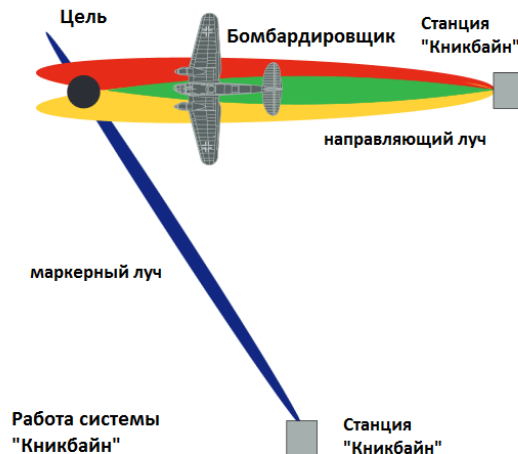


Общий вид передающих антенн, схема наложения электромагнитных полей и схема передатчика системы «Электра»/«Зонне»

Система наведения на цель «Кникебайн» («Knickebein»)

Система «Кникебайн» была предложена фирмой «Телефункен» как более простой способ «слепого» бомбометания по сравнению с системой «Икс-Герет» («X-Gerät»), которая на момент начала «Битвы за Британию» летом 1940 г. была ещё в стадии доработки и испытаний.

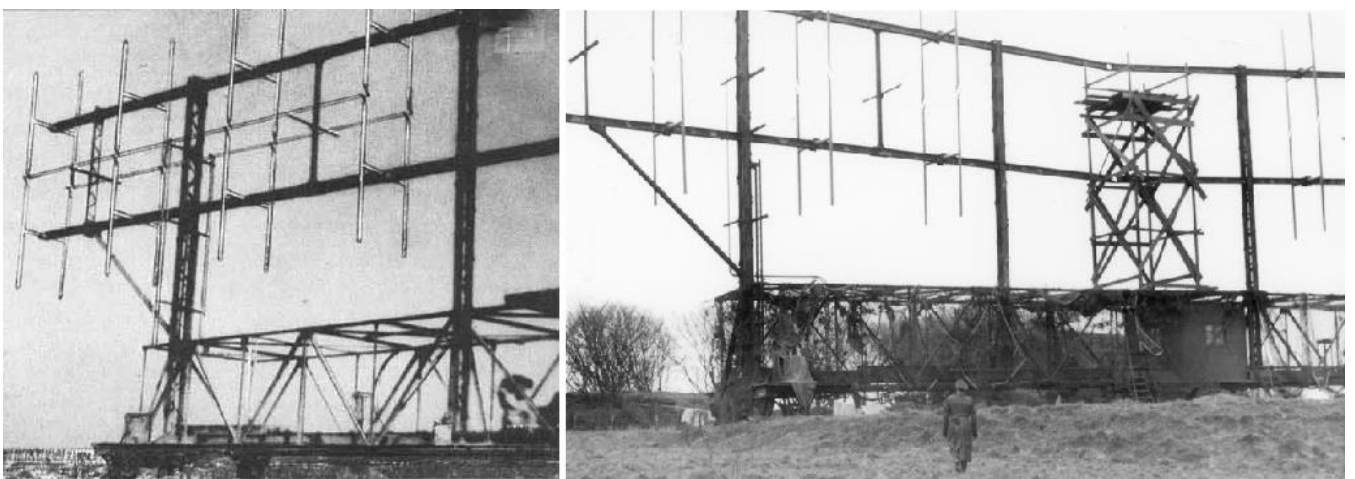
Система «Кникебайн» представляла собой наведение на цель с помощью двух радиолучей. Первый «луч» выполнял роль ведущего «луча», второй – маркерного «луча». Самолёт, двигаясь в створе ведущего «луча», проходил маркерный «луч», что было сигналом того, что он над целью и можно сбрасывать бомбы (см. схему. ниже).



Местоположение самолёта в створе направляющего «луча» контролировалось, как и в случае слепой посадки, визуально по прибору AFN 1 или AFN 2 (нижней шкале) или акустически через наушники. Прохождение маркерного «луча» фиксировалось с помощью лампы приборов AFN 1 или AFN 2.

Наземный излучатель системы «Кникебайн» представлял собой два антенных комплекса огромных размеров (габаритами 90х30 метров в раннем варианте и 45х16 в более позднем), создающих направляющий и маркерный «лучи».

Антенны поворачивались таким образом, чтобы перекрестие «лучей» находилось над целью.



Поздний («малый») вариант антенного массива системы «Кникебайн»

Бортовое оборудование самолёта для приёма сигнала антенн «Кникебайн» представляло собой стандартный приёмник EBI 1 бортовой системы слепой посадки FuVL 1. С этим оборудованием дальность приёма сигналов системы «Кникебайн» составляла на высоте 6500 м всего 250 км, а отклонение от цели достигало +-1500 по курсу и дальности. Приёмник EBI 1 имел всего две фиксированные частоты, которые легко забивались помехами.

Несмотря на недостатки (невысокая точность и плохая помехозащищённость), безусловным плюсом системы было то, что она использовала уже стоящее на самолётах люфтваффе оборудование для слепой посадки, т.е. какое-либо переоборудование не требовалось.

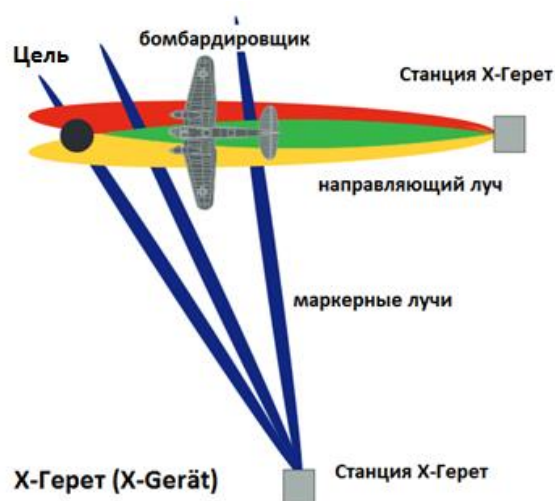
С 1941 г. на самолёты ставился комплекс слепой посадки FuBL 2 с приёмником направляющего луча EB1 3, который был гораздо чувствительнее EB1 1 и имел, в отличие от последнего, переключатель на 34 фиксированных частоты. С этим оборудованием дальность приёма сигналов системы «Кникебайн» на высоте 6500 м составляла 500- 600 км.

Система наведения на цель «Вотан 1» («Wotan I») или «X-Герет» (X-Gerät / X-Anlage)

Система «X-Герет» (т.е. «X-устройство»), представляла собой более совершенный вариант системы «Кникебайн». Разработка данной системы велась с 1933 г. после того как выяснилось, что излучение направляющего «луча» системы слепой посадки можно «удлинить» на сотни километров если использовать антенны соответствующих размеров, излучение большой мощности и расположить приёмник как можно выше (например, на летящем на высоте 6000 м самолёте).

Основные особенности системы наведения на цель «X-Герет» и отличия от «Кникебайн»:

1. Использовался не один маркерный «луч», а несколько (три, по другим данным два), что позволяло лучше подготовиться к сбросу бомб и зайти на цель с большей точностью
2. Маркерные «лучи» излучались на большей частоте 66-77 МГц («Кникебайн» - 38 МГц)
3. При пересечении маркерных «лучей» специальным образом запускались т.н. «X-часы» («X-Uhr»), которые представляли собой прибор для расчёта путевой скорости с помощью маркерных «лучей». Завершение отсчёта «X-Часов» было сигналом для сброса бомб.
4. Прибор AFN 2 настраивался не просто как указатель мощности сигнала ведущего маяка (левая шкала), а показывал какой именно из «лучей» пересекает самолёт. Рискан на левой шкале соответствовало нахождение самолёта в зоне действия конкретного маркерного «луча».
5. Наземная антенна излучала 14-18 лучей в радиальном направлении, что затрудняло своим самолётам выбор нужного «луча», хотя также и затрудняла противнику определение «главного» «луча».
6. Общая точность наведения на цель системы «X-Герет» по сравнению с «кникебайн» была выше в несколько раз и позволяла опытным экипажам при отсутствии противодействия сбрасывать бомбы в прямоугольник примерно 100 на 200 метров.



Передвижной излучатель системы "X-Gerät"

Так как система «X-Герет» работала на более высокой частоте, чем «Кникебайн», то это требовало установки на самолёты дополнительного оборудования. Этим оборудованием стал т.н. «X-приёмник» - FuG 22, который, как уже было сказано выше, подключался к прибору AFN 2 для визуальной фиксации пересечения самолётом маркерных «лучей».

Испытания системы «Х-Герет» были начаты в 1935 г., первое боевое использование произошло 4 сентября 1939 г. при налёте на польский город Пальмиры (недалеко от Варшавы).

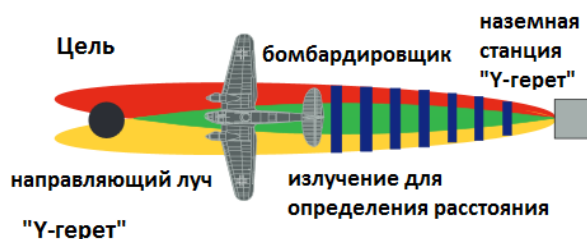
Наиболее известным использованием системы «Х-Герет» стал ночной налёт 14 ноября 1940 г. на Ковентри (Англия). Тринадцать специально оборудованных системой «Х-Герет» самолётов He-111Н-3 из 100-й бомбардировочной эскадры (KG 100) точно вышли на цель, сбросив маркерные бомбы. После этого около 500 бомбардировщиков люфтваффе уничтожили или повредили 2/3 города.

К началу 1941 г. эффективность системы «Х-Герет» упала из-за мер противодействия англичан, которые научились «подделывать» маркерные «лучи».

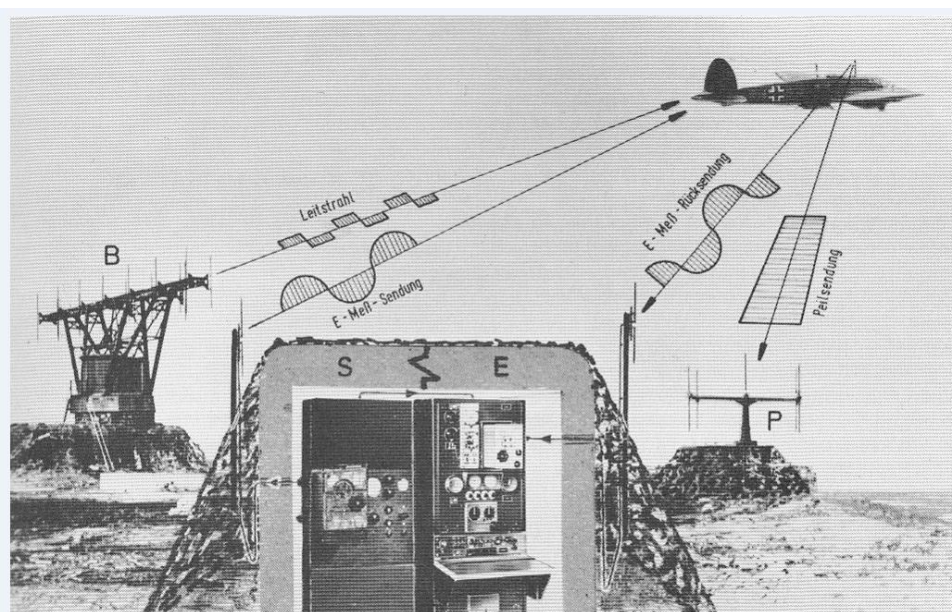
Система наведения на цель «Вотан 2» («Wotan II») или «У-Герет» (Y-Gerät / Y-Anlage)

Система «У-Герет» разрабатывалась немцами примерно в одно время с «Х-Герет». Главное отличие от систем «У-Герет» от «Х-Герет» - отсутствие маркерных «лучей». Собственно, общим с «Х-Герет» и «Кникебайн» у данной системы был только направляющий «луч». Всё остальное оборудование и идеи, в нём реализованные, были оригинальным.

Основная идея, положенная в основу «У-Герет», заключалась в возможности с помощью специального оборудования точно измерять дальность до самолёта и таким образом точно определять местоположение и осуществлять сброс бомб точно над целью.



Работа всей «У-системы» выглядела следующим образом. Самолёт летел по ведущему «лучу» от антенны «В» (см. ниже) и принимал от передающей радиостанции «S» 10-и секундный сигнал на несущей частоте 300 Гц с модуляцией частотой 42-48 МГц. После приёма сигнала бортовой приёмник FuG 17E накладывал на несущую частоту «тире» (прерывистый сигнал) и следовала немедленная передача этого же сигнала с самолёта и приём его приёмником «Е». Принятый сигнал сравнивался по фазе несущей частоты с принятым. По сдвигу фазы определялось точное расстояние от станции до самолёта, для чего использовалось оригинальное оборудование. Пеленг на самолёт мог определяться «контрольным пеленгатором» «Р».



Восстановление изображения Y-Verfahrens (Kampf): Unten: Y-Anlage »Wotan II«: B = Y-Zweistrahlantenne («Fridolin»), S = E-Meßsender (= »Hans« mit 1 kW-Sender »Berta«, = »Wolfgang« mit 10 KW-Fernsehsender), E = Kommandozentrale »Jochen« mit E-Meß-Empfangsgestell meist räumlich getrennt vom Sender), P = Kontroll-Peiler »Heinrich«. Oben: Flugzeug mit Y-Gerät (= Leitstrahlempfanganlage uG 28 a und Sendempfangsgerät FuG 17 E).

Бортовое оборудование «У-Герет» включало в себя приёмник направляющего луча FuG 28a с диапазоном частот 42,15 ... 47,75 МГц и радиостанцию FuG 17E с диапазоном частот 42,1 ... 47,9 МГц для приёма/передачи измерительного сигнала. Также в состав оборудования входил автопилот K12 с прибором автоматической коррекции курса по направляющему «лучу» LSZG (Leitstrahlkurszusatzgerät), подключенным к FuG 28a. Для истребителей вместо FuG 17E использовалась радиостанция FuG 16 ZE.

Несмотря на наибольшую техническую «продвинутость», принцип работы системы «У-герет» был быстро раскрыт англичанами (почти сразу), что крайне отрицательно отразилось на её боевой эффективности при налётах на Британию.

Для введения в заблуждение станции наземного измерения расстояния англичанами транслировался сигнал с ложным сдвигом фазы, что приводило к невозможности точного измерения расстояния до самолёта и делало всю систему «У-герет» неэффективной.

«Кникебайн», «Х-Герет» и «У-Герет» на Восточном фронте

Достоверных данных об использовании «лучевых» систем на Восточном фронте нет (или я их не нашёл). Есть несколько фотографий He-111 с трёх- и двух-мачтовым оснащением («Х-» и «У-герет» соответственно). В книге «He 111 Kampfgeschwader on the Russian Front» сообщается, что перед отправкой на Восточный фронт со всех самолётов эскадры «маркировщиков цели» KG100 оборудование для работы системы «Х-герет» было демонтировано как совершенно секретное. Несмотря на это, на некоторых машинах до августа 1941 остались внешние антенны, которые планировалось демонтировать позже. Такие самолёты называли «Dreimaster» (т.е., «трёхмачтовики» - см. ниже).



He-111H-6 3./KG100, Бобруйск, август 1941

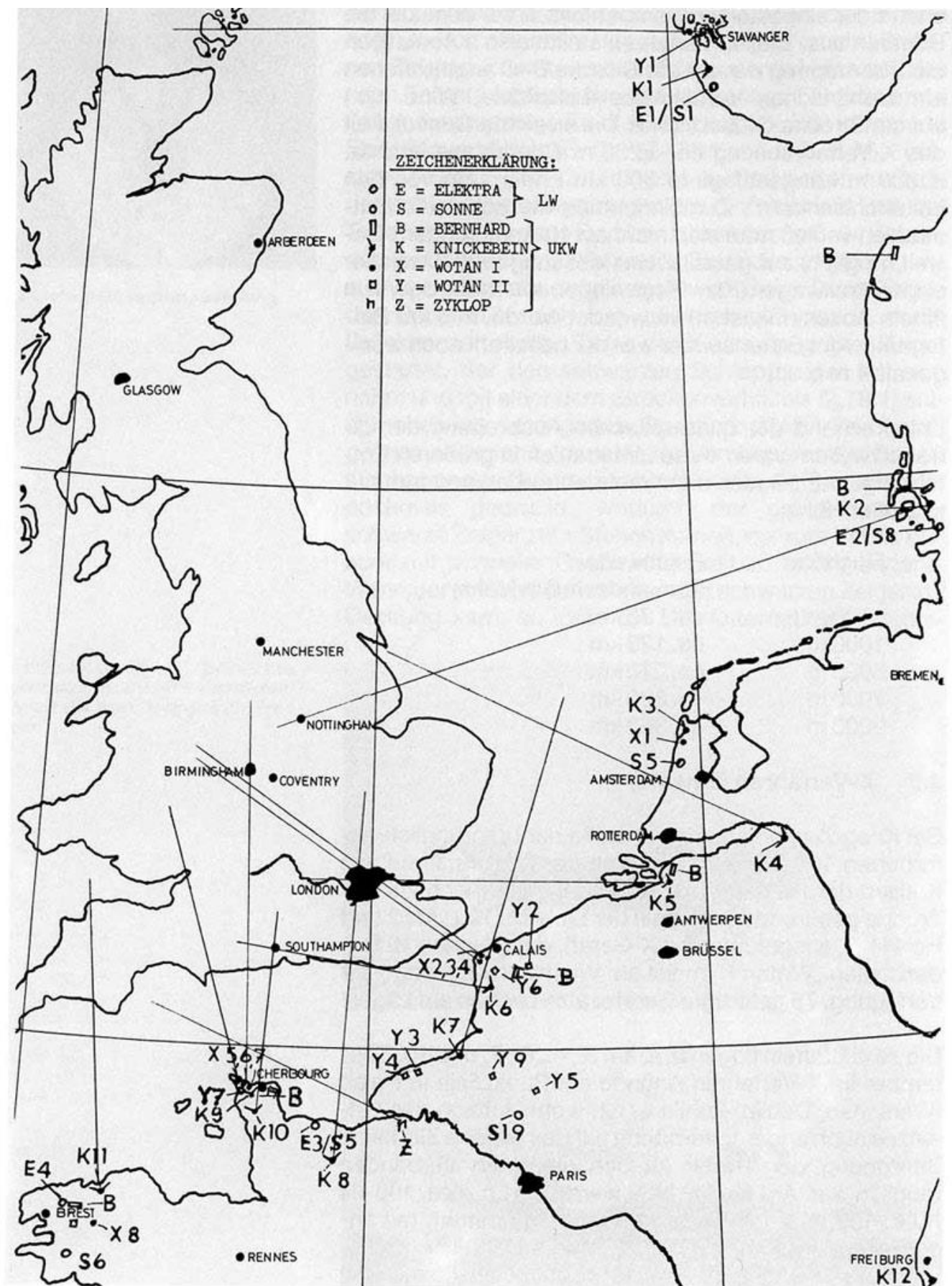
Также есть информация (см. ссылку 17), что в районе аэродрома Борисово в Белоруссии была установлена система «Циклоп», представляющая собой поздние версии 30-33,3 МГц излучателя системы «Кникебайн» (антенна FuSAp 722), который должен был работать в паре с бортовым приёмником EBI 3. Дальность приёма для самолётов на высоте 5000 м – 300 км

Таким образом, судя по всему, на Восточном фронте точно использовалась система «Кникебайн» и возможно - «У-герет». Судя по фотографиям оборудованием «У-герет» были оснащены несколько самолётов 4./KG 27, а также машины в III/KG26, 1./KG 53, I/KG 100. Такие машины визуально отличались наличием двух радио мачт (см. ниже).



He-111H-6 1./KG 53, ноябрь 1941 г.

Не исключено также, что, несмотря на наличие мачт, всё внутренне оборудование «У-герет» было демонтировано (как в случае с «Х-герет»).



Расположение наземных станций разного типа на Западном фронте

Ссылки

- 1) https://en.wikipedia.org/wiki/Luftwaffe_radio_equipment_%28Funkger%C3%A4t%29_of_World_War_II
- 2) <http://www.wehrmacht-awards.com/forums/showthread.php?t=591665>
- 3) <http://www.wehrmacht-awards.com/forums/showthread.php?t=582489>
- 4) <http://www.wehrmacht-awards.com/forums/showthread.php?t=591665>
- 5) <http://www.wehrmacht-awards.com/forums/showthread.php?p=6893399>
- 6) <http://www.cvni.net/radio/nsnl/nsnl124/nsnl124ww2de.html>
- 7) <http://www.cdvandt.org/Navigati.pdf>
- 8) <http://www.radarworld.org/flightnav.pdf>
- 9) <http://wunderwafe.ru/Magazine/AirWar/01/03.htm>
- 10) <http://www.balsi.de/Weltkrieg/Waffen/Sonderwaffen/Luftwaffe/xgeraet+knickebein.htm>
- 11) <http://www.ausairpower.net/SP/DT-MS-0207.pdf>
- 12) <http://www.nonstopsystems.com/radio/hellschreiber-modes-other-hell-brnhrd.htm>
- 13) http://bnrg.eecs.berkeley.edu/~randy/Courses/CS39K.S03/radio_navigation.html
- 14) <http://forum.axishistory.com/viewtopic.php?t=122288>
- 15) <http://www.wehrmacht-awards.com/FORUMS/showthread.php?t=639967>
- 16) <http://www.deutschesatlantikwallarchiv.de/radar/technik/peiler.htm>
- 17) <http://www.deutschesatlantikwallarchiv.de/radar/rusland/rrus.htm>
- 18) «Die deutschen Funkstörverfahren bis 1945», Trenkle Fritz, 1987
- 19) «He 111 KAMPFGESCHWADER ON THE RUSSIAN FRONT», Osprey Publishing Limited, 2013